

Ist die Festigkeitsprüfung von Kunststoffen mittels Dauerwechselbiegung und Dauerzug adäquat?

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades in der Zahnheilkunde
des Fachbereiches Humanmedizin
der Philipps-Universität Marburg a. d. Lahn

vorgelegt von
Hartmut Marbach
aus Köln

Marburg 1974

Ist die Festigkeitsprüfung von Kunststoffen mittels Dauerwechselbiegung und Dauerzug adäquat?

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades in der Zahnheilkunde
des Fachbereiches Humanmedizin
der Philipps-Universität Marburg a. d. Lahn

vorgelegt von
Hartmut Marbach
aus Köln

Marburg 1974



Angenommen vom Fachbereich Humanmedizin
der Philipps-Universität Marburg, am 5. Juli 1974

Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereiches

Dekan: Prof. Dr. Neurath, Prodekan

Referent: Prof. Dr. G. Janke

Correferent: Prof. Dr. F. H. Müller

I N H A L T S V E R Z E I C H N I S

	Seite
I. EINLEITUNG	1
II. HAUPTTEIL	2
A) Die Festigkeit von Kunststoffen und deren Beeinflussung	2
1. Die Festigkeit von Kunststoffen und deren Prüfmethoden	2
2. Beeinflussung der Festigkeit	7
a) Äußere Form	8
b) Temperatur	9
c) Wässriges Milieu	10
d) Homogenität	11
B) Beschreibung eigener Versuche	12
1. Bestimmung des Zeitstandverhaltens von Orthocryl und Palapress	12
a) Herstellung der Prüfkörper	12
b) Versuchsbeschreibung	14
c) Versuchsergebnisse	17
d) Vergleich mit den Ergebnissen von TRINKAUS	17
2. Bestimmung des Wechselbiegeverhaltens von Orthocryl und Palapress	18
a) Herstellung der Proben	18
b) Prüfung des Wechselbiegeverhaltens	19
c) Versuchsergebnisse	20

	Seite
C) Vergleichende Diskussion	20
1. Wertung der Versuchsanordnungen	20
2. Vergleichende Wertung der Versuchsergebnisse	22
a) Der Zugversuch	22
b) Der Wechselbiegeversuch	23
c) Gegenüberstellung	24
III. ZUSAMMENFASSUNG	24
IV. LITERATURANGABEN	27
V. ANHANG (Tabellen und graphische Darstellungen der Ergebnisse)	

I. EINLEITUNG

Als der heißzupolymerisierende Kunststoff den Kautschuk als Basismaterial verdrängt hatte, schlossen sich Bemühungen, ihm höhere Bruchfestigkeit zu verleihen, an: Umstritten war und ist die Methode, durch Einlegen von Metalldrähten oder -gittern in die Prothesenbasis dieses Ziel zu erreichen. Während STRACK und MATTHES sich diesen Einlagen gegenüber ablehnend verhielten und den Nachweis führten, daß Prothesenkunststoffe ohne Metallarmierungen bessere Dauerfestigkeitswerte lieferten, vertrat UHLIG die gegenteilige Auffassung. Nachdem die Festigkeit von Prothesen mehr und mehr verbessert werden konnte - zum Beispiel durch die Langzeit-Tieftemperatur-Polymerisation nach BAUER, das Einpreß-Nachpreß-Verfahren nach JANKE und insbesondere die Verwendung von teilvernetzten Kunststoffen -, suchte man nach Polymerisaten, die bei gleichen mechanischen und kosmetischen Eigenschaften eine Herstellungsvereinfachung mit sich bringen sollten. Die Kaltpolymerisate, bei denen die Polymerisation ohne Wärmezufuhr durch Zugabe von Katalysatoren und Acceleratoren in Gang kommt, erfüllten zwar schon bald die an sie gestellten arbeitserleichternden und kosmetischen Anforderungen, erwiesen sich aber als Basismaterial wegen ihrer geringen Festigkeit als unbrauchbar. In jüngster Zeit ist es gelungen, die Autopolymerisate, die "hinsichtlich der chemischen Zusammensetzung keine grundlegenden Unterschiede" (RITZE) gegenüber den Heißpolymerisaten

aufweisen, in dieser Hinsicht soweit zu verbessern, daß sie jene auf einigen Gebieten, vor allem in der kieferorthopädischen Praxis (Platten- und Aktivatorherstellung), verdrängt haben.

Wichtige Aufschlüsse über ihre zu erwartende Praxistauglichkeit ergeben Festigkeitsprüfungen, die die tatsächlich im Mund auftretenden Belastungen nachahmen. Sie können sie aber nicht ersetzen, so daß die klinische Erprobung nach wie vor das letzte Glied der Prüfkette bildet.

II. HAUPTTEIL

A) Die Festigkeit von Kunststoffen und deren Beeinflussung

1. Die Festigkeit von Kunststoffen und deren Prüfmethoden

"Unter Festigkeit versteht man gemeinhin den Widerstand, den ein Stoff der Trennung durch eine mechanische Kraft entgegensetzt. Die Kraft kann in verschiedener Weise einwirken, weshalb man verschiedene Arten von Festigkeit unterscheidet: die Zug-, Biege-, Scher-, Verdreh- und die Druckfestigkeit." (JANKE)

Ein grundsätzlich unterschiedliches Verhalten weisen Metalle und hochpolymere Kunststoffe gegenüber den oben genannten Kräften auf. Die Metalle gehen unter Einwirkung einer bestimmten Kraft entweder in kurzer Zeit oder überhaupt nicht zu Bruch; bei den Kunststoffen spielt dagegen der Zeitfaktor eine herausragende Rolle. Ein

Prüfkörper aus diesem Material wird kurzzeitig eine bestimmte Last aushalten können, über längere Zeit kann dieselbe Last aber zur Gefügetrennung führen, oder wie SCHWICKERATH die Erfahrung aus Versuchen mit steigender Biegebelastung zusammenfaßt, "daß je mehr Zeit bis zum Bruche vergeht, um so geringer die Beanspruchung beim Bruche ist". "Bei den Kunststoffen gehört zu jeder Beanspruchungszeit eine bestimmte Festigkeit. Die Angabe einer bestimmten Festigkeit ohne Bezeichnung der Dauer der Belastung ist wertlos" (BUCHMANN).

Die Ursache dieses unterschiedlichen Verhaltens ist im Aufbau der verschiedenen Stoffarten zu suchen. Während ausschließlich Hauptvalenzen die kleinsten Teilchen der Metalle zusammenhalten, verbinden diese Kräfte bei den Methacrylaten lediglich die Monomerbausteine; es werden Ketten gebildet, die aber keine längsgestreckten Fäden darstellen, sondern "mehr oder weniger unregelmäßig ineinander verschlungen bzw. verknäuelte sind wie ein Wattebausch" (WEIKART). Zu Bindungen der Ketten untereinander, sog. Vernetzungen, kommt es durch Dipolbindung oder Wasserstoffbrücken, wenn der Kettenabstand klein genug ist. Wir unterscheiden folgenderweise zwei Brucharten:

- a) den Spontanbruch: Abriß der Hauptvalenzen in der Molekularstruktur,

b) den Ermüdungsbruch: Die Lockerung der Nebervalenzen führt zu einer Überdehnung und schließlich zum Bruch.

"Je länger die Beanspruchung auf die Nebervalenzen andauert, desto schwächer wird ihre Bindungskraft. Ihre Festigkeit ist also zeitabhängig." (JANKE) In diesem Fall spricht JANKE von "Aneinandervorbeigleiten der verknäuelten (verfilzten) Kettenenden". Diese Bruchart droht jeder Kunststoffprothese nach längerer Tragedauer, da das Prothesenlager einmal eine unterschiedliche Nachgiebigkeit aufweist (Drüsengewebe, Schleimhautdicke über dem Knochen variiert), zum anderen einem ständigen Umbau unterliegt (Alveolarknochen), der nicht überall gleichmäßig erfolgt. So entstehen beim Kauakt Kippbewegungen und dadurch vor allem Biege- und Zugbeanspruchung, die im Laufe der Zeit einen Ermüdungsbruch herbeiführen können. RITZE: "Der Prothesenbasiswerkstoff ist beim Kauvorgang weniger einer Druck- als einer Dauerbiegebeanspruchung ausgesetzt. Unter Festigkeit bei normaler Kaubeanspruchung ist also eine ausreichende Dauerbiegefestigkeit als entscheidende Eigenschaft eines Prothesenmaterials zu verstehen."

Die Strukturveränderungen, denen der hochpolymere Kunststoff während der Langzeitbelastung unterliegt, lassen sich im Dauerzugversuch durch Dehnen des Prüfkörpers aufzeigen. Es handelt sich um eine plastische

Verformung. Dieser "Flow" ist charakteristisch und besteht in einer "Entschlingung" der Ketten an den Stellen, an denen sie durch die geringen Bindungskräfte der Nebenvalenzen zusammengehalten werden. Fällt die Belastung fort, findet eine "recovery" nicht statt, das heißt, der Kunststoffkörper kann zwar seine ursprüngliche Form wiedergewinnen - SCHWICKERATH zieht aus Biegeversuchen den Schluß, daß "wahrscheinlich nach einer gewissen Zeit (bis ∞) die durch die Lasteinwirkung in bestimmter Zeit hervorgerufene Formänderung wieder vollkommen ausgeglichen wird" -, aber die inneren Strukturveränderungen bleiben. Im Versuch wird ein zuvor belasteter Prüfkörper - wie HAWARD an Hand von Zelluloseazetat nachweisen konnte - unter Einwirkung der gleichen Last eher als ein neuer reißen. "Jede vorausgegangene Belastung hat im Hochpolymeren ihre Spuren unutilgbar hinterlassen." (F.H. MÜLLER)

Auf die genannten besonderen Eigenschaften der hochpolymeren Kunststoffe müssen die Prüfverfahren Rücksicht nehmen, das heißt, ein Prüfverfahren wird nur dann Aussagekraft über die Festigkeit eines Methacrylats besitzen, wenn es eine Dauerbelastung darstellt. JANKE konnte z.B. nachweisen, daß das inhomogenere Rapidpaladon zwar eine höhere Kurzzeitfestigkeit als das Paladon aufwies; wurden die beiden Kunststoffe aber über längere Zeit geringeren Belastungen ausgesetzt, so zeigte sich, wie es nach der Praxiserfahrung zu vermuten war, ein umgekehrtes Verhalten: Der Kunststoff mit der größeren Homo-

genität erwies sich als der festere. Eine materialgerechte Prüfung kann also nur im Dauerversuch erfolgen. Um Rückschlüsse auf die Prothesentauglichkeit ziehen zu können, müssen die angewandten Prüfmethode den Belastungsverhältnissen im Mund entsprechen oder möglichst nahe kommen.

Unter Berücksichtigung dieser Forderungen und der unten näher beschriebenen Faktoren, die zu einer Beeinflussung der Festigkeit führen, soll in der Arbeit eine vergleichende Untersuchung von Dauerzug- und Dauerwechselbiegeprüfung an Hand zweier kaltpolymerisierender Methacrylate, dem Palapress (Kulzer) und Orthocryl (Dentaurum), erfolgen. Es soll dabei der Frage nachgegangen werden, ob die Ergebnisse einer Prüfmethode gegenüber denen der anderen einen größeren Aussagewert besitzen, oder ob sie hinsichtlich ihrer Übertragbarkeit in die Praxis gleich zu bewerten sind; denn beide Methoden weisen einen Unterschied im Aufwand bezüglich der Kosten und der Zeit auf.

Man unterwirft ca. fünfundzwanzig Proben den genannten Prüfverfahren, variiert die Belastung und mißt die Zeitspanne bis zum Bruch des Prüfkörpers. Von hohen Belastungswerten ausgehend wird der Wert ermittelt, bei dem trotz langer Belastungszeit kein Bruch erfolgt.

In einem Koordinatensystem wird die Belastungsgröße, die eine Trennung herbeigeführt hat, auf die arithmetisch geteilte Ordinate, die dazugehörige Zeit auf die loga-

rithmisch geteilte Abszisse eingetragen. Verbindet man die gefundenen Punkte, so erhält man die für die Kunststoffe charakteristischen ZEITFESTIGKEITSLINIEN; entsprechend der Belastungsart unterscheidet man zum Beispiel die "Zeitstandfestigkeitslinie" und die "Wechselbiegefestigkeitslinie".

Die Zeitstandfestigkeitslinie fällt linear mit sinkender Zuglast und logarithmisch aufgetragener Zeit ab. Die Steilheit ihres Abfalls gibt Auskunft über das Festigkeitsverhalten des geprüften Werkstoffs, denn je früher der Bruch bei abnehmender Belastung eintritt, desto größer fällt der Winkel aus, den sie mit der Abszisse bildet. Ein zur Abszisse paralleler Verlauf wäre demnach als ideal anzusehen (Dauerstandfestigkeit).

Bei der Wechselbiegebeanspruchung erfolgt die Registrierung der ertragenen Lastwechselanzahl ebenfalls logarithmisch als Zeitmaß auf der Abszisse. Die Wechselbiegefestigkeitslinie oder WÖHLER-Kurve weist einen exponentiellen Abfall mit einem steilen Beginn auf, um im Unendlichen parallel zur Abszisse zu verlaufen. Das dabei aufgewendete Biegemoment ergibt die Dauerfestigkeit des Stoffes.

2. Beeinflussung der Festigkeit

Mehrere Faktoren üben einen Einfluß auf das Langzeitfestigkeitsverhalten von Methacrylaten aus. Dies sind vor allem: die äußere Form, die Temperatur, das wässrige Milieu und die Homogenität.

a) Äußere Form

Bei gebrochenen partiellen Oberkieferprothesen, die ein Restgebiß versorgen, in dem lediglich die Eckzähne vorhanden sind, fällt der häufig gleich verlaufende Bruch auf: von den natürlichen Eckzähnen ausgehend zur Mitte. Eine totale Oberkieferprothese, die wegen eines tiefansetzenden Lippenbändchens labial weit ausgeschnitten ist, wird wahrscheinlich einen medianen Bruchverlauf aufweisen, der seinen Ausgang am Lippenbändchen nimmt. Dies ist mit der sogenannten "Kerbwirkung" zu erklären.

BUCHMANN hat Zerreißversuche mit Rundstäben aus PVC durchgeführt, die entweder mit einer glatten Oberfläche oder aber mit Rund- oder Spitzkerben versehen waren. Im Kurzzeitversuch schnitten die gekerbten besser ab, während die ungekerbten im Langzeitversuch die größere "Gestaltfestigkeit" aufwiesen (Abb. 1).

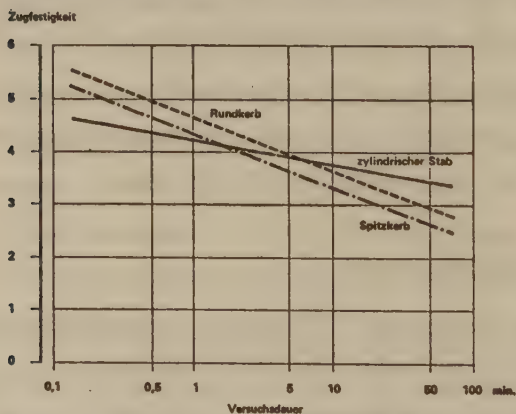


Abb. 1 Zugfestigkeit von PVC (nach BUCHMANN)

Die ungünstigste Beeinflussung wurde durch die Spitzkerben hervorgerufen.

Die Kerbwirkung beschränkt sich aber nicht auf makroskopische Kerben, sondern mikroskopische Bearbeitungsrauigkeiten lassen dieselbe Wirkung, wenn auch in geringerem Maße, erkennen, wie BUCHMANN nachweisen konnte. Für eine möglichst hohe Dauerfestigkeit erweist sich also eine glatte Oberflächenbeschaffenheit als entscheidend. Aus diesem Grund ist eine gute Politur der Prüfkörper eine Voraussetzung für exakte Meßergebnisse bei Dauerfestigkeitsprüfungen.

b) Temperatur

"Ganz überschlägig kann man sagen, daß die vergleichbare Eigenschaftsänderung, welche der Stahl im Verlauf von 500°C durchmacht, von Leichtmetallen im Verlauf von 150°C und von Kunststoffen im Verlauf von nur 50°C durchgemacht wird. Der Gebrauchsbereich der Kunststoffe ist dadurch begrenzt, insbesondere nach oben." (BUCHMANN)
Linear abfallende Festigkeitswerte sind mit steigender Temperatur bei fast allen Kunststoffen zu verzeichnen. Bei Zimmertemperatur wird man demzufolge höhere Festigkeitswerte finden als bei Mundtemperatur. Die Temperaturangabe ist deshalb bei vergleichender Beurteilung von Meßergebnissen unerlässlich. Bei Dauerbiegefestigkeitsprüfungen muß nach WEIKART berücksichtigt werden,

"daß die Prüfkörper während der Messung durch Steigerung der Temperatur ihren Zustand und damit ihre Eigenschaften ändern".

c) Wässriges Milieu

Kommt das Methacrylat während des Polymerisationsprozesses oder auch im fertigen Zustand mit Wasser in Berührung, so resultiert daraus eine Festigkeitsbeeinträchtigung. Durch H_2O -Zutritt ist die Polymerisation schneller als ohne abgeschlossen; die Entwicklung von kurzen Ketten ist die Folge. Diese bewirken wiederum eine herabgesetzte Dauerfestigkeit.

Bei dem fertigen Methacrylat wird das Eindringen von Wasser durch die relativ großen Molekülabstände ermöglicht, begünstigt wird der Vorgang durch die Anwesenheit von hydrophilen OH-, COOH- oder NH-Gruppen. So wird die herabgesetzte Festigkeit von Kunststoffen erklärbar, die in wässrigem Milieu aufbewahrt werden. Eine Quellung des Polymerisats bewirkt ein Auseinanderücken der Ketten, so daß eine "Entschlingung" bei Belastung in kürzerer Zeit erfolgen kann. ALFREY: "Wasser wirkt als mächtiger Weichmacher für viele Kunststoffe und führt zur Verringerung der Festigkeit." "Dies zeigt sich darin, daß durch die Wasseraufnahme die Biegefestigkeit und insbesondere auch die Dauerbiegefestigkeit abnimmt." (JANKE)

Geht nun der Wassereinfluß mit einer Temperaturerhöhung einher, so wird die Menge des eindringenden Wassers erhöht, es findet also eine weitere Festigkeitseinbuße statt. In welcher Größenordnung die H_2O -Aufnahme erfolgt, hat RITZE experimentell ermittelt. Prüfkörper, die 42 Tage in H_2O bei $38 \pm 2^\circ C$ aufbewahrt worden waren, wiesen eine Gewichtszunahme von ca. 1,85 % (Paladur) auf. Aus dem Gesagten läßt sich leicht erkennen, welch ungünstigen Einflüssen eine Zahnprothese in ihrem Funktionsmilieu ausgesetzt ist.

d) Homogenität

Die Homogenität stellt einen weiteren die Festigkeit beeinflussenden Faktor dar. "Ein scheinbar homogener Körper besitzt in Wirklichkeit eine große Anzahl kleiner Fehlstellen, von denen jeder spröde Bruch ausgeht und über die sich jeder Bruch fortpflanzt." (W. MESKAT, O. ROSENBERG, F. SCHWÄRZL und A. J. STAVERMANN) JANKE stellt zu demselben Problem fest: "Will man einem Körper mit vorgeschriebenem Ausmaß und festgelegter Materialart die größtmögliche Festigkeit verleihen, so ist dies nur möglich, wenn man ihn homogen aus diesem Material aufbaut. Jede Pore und jede Inhomogenität bedingen eine Schwächung." An die Prüfkörper müssen diesbezüglich strenge Maßstäbe gelegt werden, da andernfalls

Die Meßergebnisse von Dauerbelastungsversuchen nur einen geringen Aussagewert besitzen; bei gleichen Belastungswerten wäre eine unzulässige Streubreite der Zeitwerte die Folge.

B) Beschreibung eigener Versuche

1. Bestimmung des Zeitstandverhaltens von Orthocryl und Palapress

a) Herstellung der Prüfkörper

Zur Herstellung der Proben aus Orthocryl (Dentaurum) und Palapress (Kulzer) wurde eine Messingschablone verwandt. Dieser Normstab war nach DIN 53504 gefertigt. Er hatte die auf der Abbildung angegebene Form und Maße.



A = Gesamtlänge	50 mm
B = Breite der Köpfe	8,5 mm
C = Länge des Steges	15 mm
D = Breite des Steges	4 mm
F = Dicke des Prüfkörpers	3 mm



Abb. 2 Prüfkörper nach DIN 53504

Die auf der Abb. 2 zu erkennende Verjüngung des Querschnitts nach unten diente dem leichteren Entfernen der Probe aus der Negativform. Diese bestand aus Gips und war in Wachsplattenstärke mit Optosil (Bayer) ausgekleidet. Der Gips

garantierte für die notwendige Stabilität und verhinderte ein Verziehen der Form beim Pressen in der Kuvette. Durch das Optosil wurde eine optimal glatte Oberfläche des Prüfkörpers gewonnen, so daß sich eine Politur der Prüfkörper erübrigte. Das Palapress wie auch das Orthocryl wurden in dem vom Hersteller angegebenen Pulver-Flüssigkeits-Verhältnis angemischt und nach der vorgeschriebenen Anquellzeit in die Negativform gefüllt. Unter einem Konterdruck von 2,5 atü fand die Polymerisation statt. Um möglichst gleiche Herstellungsbedingungen zu erhalten, wurde jeweils eine Serie von sechs Proben in zwei Kuvetten hergestellt.

Abb. 3 Kuvette mit
drei Proben

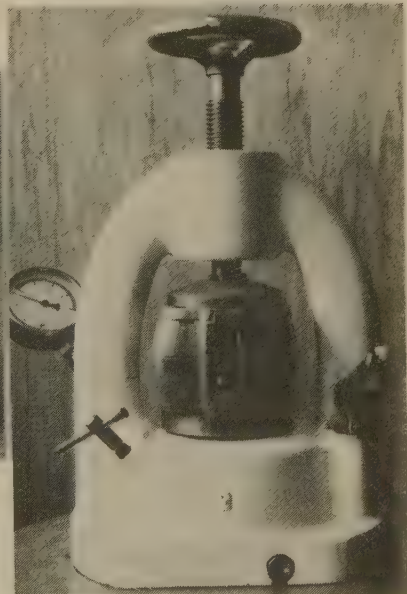
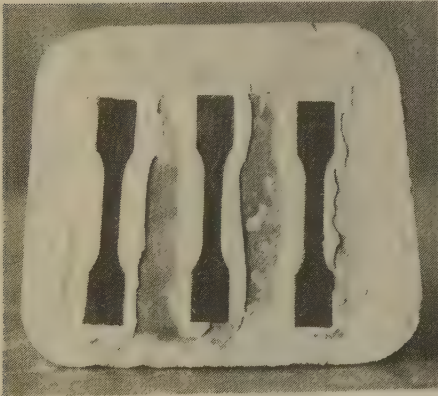


Abb. 4 Presse mit Kuvette

Nach einer halben Stunde wurden die Prüfstäbe den Küvetten entnommen und im Wasserbad bei Zimmertemperatur aufbewahrt. Nach weiteren vierundzwanzig Stunden wurden diese Stäbe gemessen. Sie wiesen eine Dickenzunahme um Pressfahnenstärke (0,1 - 0,15 mm) auf. Die übrigen Maße entsprachen denen des Normprüfstabes. Mit langsam unter einem Wasserstrahl rotierendem Sandpapier (feinste Körnung) wurden die notwendigen Korrekturen vorgenommen. So konnte es durch Hitzeeinwirkung nicht zu Strukturveränderungen des Werkstoffs und damit zur Festigkeitseinbuße kommen.



Abb. 5 Schleifgerät

b) Versuchsbeschreibung

Um die Prüfkörper auf Zug zu beanspruchen, wurden sie in die auf Abb. 6 schematisch dargestellte Vorrichtung eingespannt. Zehn derartiger Prüfstellen waren in einem Gerät zusammengefaßt.

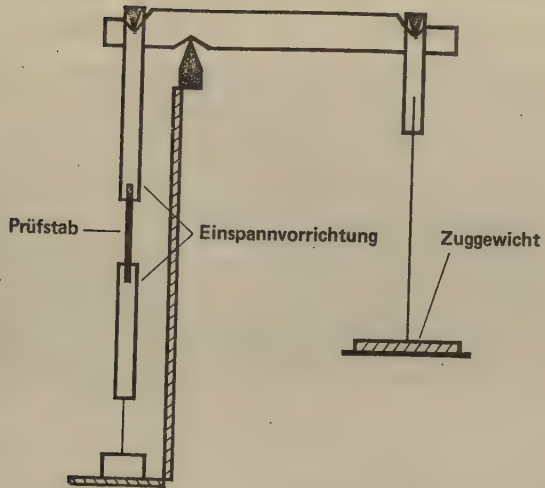


Abb. 6 Prinzip der Versuchsanordnung

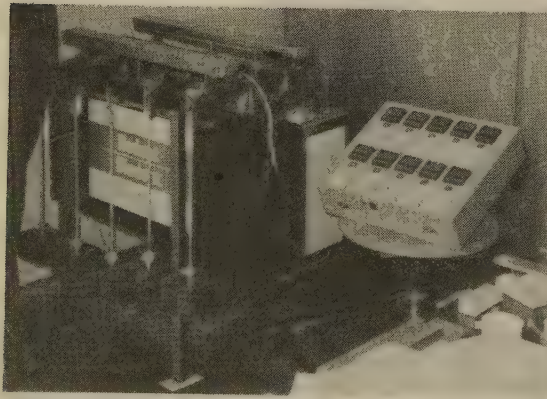


Abb. 7 Zeitstandprüfanlage, rechts: Zeitmeßtafel

Eine Lehre gewährleistete eine gleiche Einspannung aller Proben.

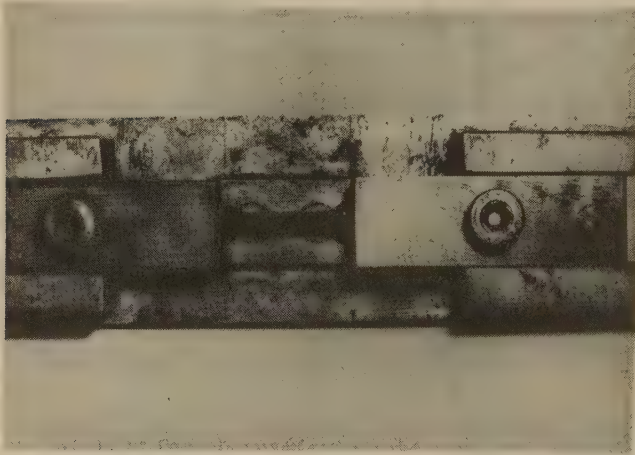
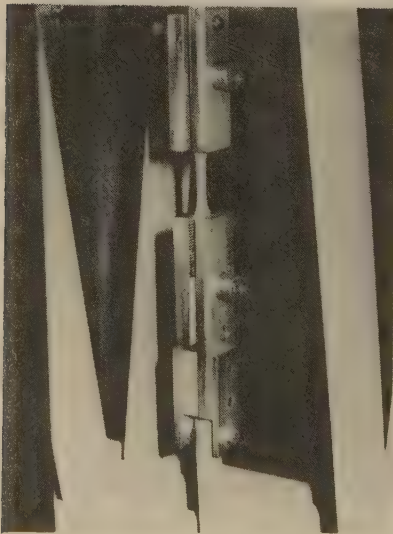


Abb. 8 Einspannlehre



Die Zuglast, die am Prüf-
stab ansetzte, erfuhr durch
Hebelübersetzung den vier-
fachen Wert der Anhängelast.

Um beim Zerreißen einer
Probe die Erschütterung
des Prüfgerätes möglichst
gering zu halten - eine
Erschütterung hätte weite-
re Brüche nach sich ziehen
können -, war eine Dämpfungs-
vorrichtung angebracht.

Abb. 9 Eingespannter Prüfkörper

Bei Bruch des Prüfkörpers schaltete ein Unterbrecherkontakt eine angeschlossene Uhr ab; so ließ sich der Zeitpunkt einer jeden Gefügetrennung und damit die Standfestigkeit für das jeweilige Zuggewicht auf die 1/100 Stunde genau bestimmen.

c) Versuchsergebnisse

1. Kurzzeitfestigkeit	Palapress: 340 kp/cm ²
(Brucheintritt nach einer Minute)	Orthocryl: 280 kp/cm ²
2. Dauerstandfestigkeit	Palapress: 200 kp/cm ²
(Brucheintritt nach 1.000 Stunden)	Orthocryl: 160 kp/cm ²
3. Winkel der Zeitstandfestigkeitslinien mit der Abszisse	Palapress: 16°
	Orthocryl: 13,5°

d) Vergleich mit den Ergebnissen von TRINKAUS

Bei einem Vergleich mit den Ergebnissen, die TRINKAUS mit Palapress an Hand derselben Versuchsanordnung erzielt hat - unterschiedlich war die Prüfkörperherstellung (im Drucktopf) und das wässrige Milieu, in dem sich die Proben während der Zugbeanspruchung befanden -, fällt die um 40 kp/cm² geringere Kurzzeitfestigkeit und der steilere Abfall der Zeitstandfestigkeitslinie - sie bildet mit der Abszisse einen Winkel von 19° - auf. Der um 3° größere Winkel unterstreicht die "Weichmacher"-Funktion des Wassers auf Kunststoff.

2. Bestimmung des Wechselbiegeverhaltens von Orthocryl und Palapress

a) Herstellung der Proben

Die Herstellung der Prüfkörper für die Wechselbiegeversuche erfolgte auf dieselbe Art, wie sie oben bei der vorherigen Versuchsanordnung beschrieben wurde.

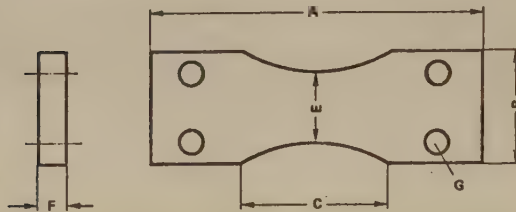


Abb. 10 Prüfkörper

A = Gesamtlänge	90 mm
B = Breite der Köpfe	30 mm
C = Länge des Steges	40 mm
E = Geringste Breite des Steges	20 mm
F = Dicke des Steges	5 mm
G = Befestigungsloch	

Bei der Bohrung der vier Befestigungslöcher wurde einer Hitzeeinwirkung durch die Wahl einer geringen Tourenzahl vorgebeugt.

b) Prüfung des Wechselbiegeverhaltens

Definition der Dauerschwingfestigkeit nach DIN-Norm

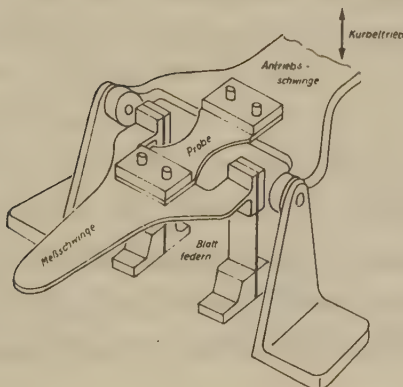
50100: "Die Dauerschwingfestigkeit, kurz Dauerfestigkeit genannt, ist der um eine gegebene Mittelspannung schwingende größte Spannungsausschlag, den eine Probe unendlich oft ohne Bruch und ohne unzulässige Verformung aushält."

Die Versuche wurden mit einer Wechselbiegemaschine von SCHENCK bei DYNAMIT NOBEL mit freundlicher Unterstützung von Herrn DR. NÜMANN durchgeführt.

Die Wirkungsweise dieser Maschine beschreibt v. MEYSEN-BUG: "Sie belastet die Probe wechselnd nach der in Bild 11 skizzierten Weise, wobei das aufgebraachte Biegemoment aus dem Ausschlag einer Meßschwinge bestimmt wird. Durch

Schenck - Wechselbiegemaschine

Probenanordnung u. Wirkungsweise



einen Kurbelantrieb wird die Probe über die Antriebsschwinge periodisch ausgelenkt und damit auf Wechselbiegung beansprucht. Die aufgebraachte Kraft wird durch die Probe auf die Meßschwinge übertragen. Der Ausschlag der Meßschwinge wirkt auf eine geeichte Meßfeder und kann durch zwei Meßuhren genau bestimmt werden.

Abb. 11 Wechselbiegemaschine

Mit Hilfe einer Eichkurve läßt sich dann aus dem Ausschlag das von der Probe aufgenommene Biegemoment ermitteln."

Die Wechselbiegemaschine arbeitete mit einer Frequenz von 1430 Lastwechseln/min. Von einem hohen Wert ausgehend, wurde die Spannung von Probe zu Probe immer weiter verringert bis kein Bruch mehr eintrat, das heißt die Dauerbiegefestigkeit des Werkstoffs bestimmt war.

Die Anzahl der Lastwechsel bis zur eingetretenen Gefügetrennung wird in einem Koordinatensystem auf der logarithmisch geteilten Abszisse eingetragen, die dazugehörige Spannung auf der arithmetisch unterteilten Ordinate. Die Verbindung der in das Koordinatensystem übertragenen Meßwerte ergibt die WÖHLER-Kurve.

c) Versuchsergebnisse

Dauerwechselbiegefestigkeit für Palapress 75 kp/cm^2

Dauerwechselbiegefestigkeit für Orthocryl 117 kp/cm^2

C) Vergleichende Diskussion

1. Wertung der Versuchsanordnungen

Bevor eine vergleichende Wertung der Versuchsergebnisse vorgenommen wird, muß diskutiert werden, welche der beiden Versuchsanordnungen den Belastungen im Mund am nächsten kommt.

Der Vorzug muß der Dauerzugprüfung gegeben werden; denn die Wechselbiegeprüfung mit der SCHENCK'schen Maschine führt zu Temperaturerhöhungen, die im Funktionsmilieu einer Prothese nicht beobachtet werden - im Versuch erwärmte sich der Prüfkörper von 23°C auf ca. 39°C . Als Ursache ist die hohe Frequenz von 1430 Lastwechsel/min anzusehen.

Wird die Festigkeitseinbuße, die mit der Temperaturerhöhung einhergeht, einmal außer acht gelassen, könnte man die Forderung: zu jeder Festigkeitsangabe gehört die Temperaturangabe, als erfüllt ansehen. Eine weitere Forderung nach Temperaturgleichheit von Versuchs- und Mundmilieu erscheint ebenfalls Berücksichtigung gefunden zu haben. Ein wichtiges Kriterium bliebe allerdings bei dieser Betrachtungsweise unberücksichtigt: Die Temperaturerhöhung erfolgt nicht plötzlich zu Beginn des Versuchs, um das hohe Niveau bis zum Ende beizubehalten, sondern allmählich während der gesamten Versuchsdauer. Somit ist der Festigkeitsangabe keine Temperaturangabe zuzuordnen, was nach oben aufgestellter Forderung zumindest eine Relativierung ihres Aussagewertes bedeutet. Um dies zu vermeiden und eine Temperaturkonstanz während der gesamten Versuchsdauer zu gewährleisten, müßten extrem niedrige Frequenzen zur Anwendung gelangen. Diese würden den Nachteil einer für die Prüfpraxis unzumutbar langen Versuchsdauer in sich bergen. Eine gleichbleibende Temperatur über Fühler und Thermostat zu erreichen, erscheint zwar denkbar, aber wenn überhaupt, nur mit großem Aufwand.

Bei den Dauerzugversuchen dagegen wird keine Erwärmung beobachtet. Durch die Temperaturkonstanz ist die Aussagekraft der Festigkeitswerte dieser Dauerbelastungsprüfung demnach höher zu bewerten als die der vorangegangenen.

2. Vergleichende Wertung der Versuchsergebnisse

Anschließend soll eine vergleichende Betrachtung von Zeitstandfestigkeit und Dauerbiegefestigkeit an Hand der ermittelten Kurven versucht werden, um eine Antwort auf die Frage zu finden, ob ein Werkstoff, der in einem der angewandten Prüfverfahren besser abgeschnitten hat, auch im anderen die größere Festigkeit aufweist, mit anderen Worten, ob die erhaltenen Werte parallel verlaufen.

a) Der Zugversuch

Die Kurzzeitfestigkeit von Palapress ist im Zugversuch mit 340 kp/cm^2 höher als von Orthocryl (280 kp/cm^2). Von diesem Wert ausgehend, nimmt die Zeitstandfestigkeitslinie ("Band") - gemessen an der von Orthocryl - einen um $2,5^\circ$ steileren Verlauf, ohne diese aber im gesamten Meßbereich zu berühren oder sogar zu kreuzen - ein Schnittpunkt kann im Bereich von 3×10^9 Stunden, was ungefähr einer Zeit von 3×10^5 Jahren entspricht, angenommen werden. Nach JANKE und TRINKAUS gibt zwar der Winkel, den die Zeitstandfestigkeitslinie mit der Abszisse bildet, Aufschluß über die Güte des geprüften

Werkstoffs - dem kleineren Winkel ist der bessere Kunststoff, hier also Orthocryl, zuzuordnen -, da jedoch die Festigkeitslinie von Palapress im Bereich bis zu 3×10^5 Jahren oberhalb der von Orthocryl verläuft, muß Palapress als der bessere Kunststoff gelten.

b) Der Wechselbiegeversuch

Der Vergleich der WÖHLER-Kurven erbringt ein umgekehrtes Ergebnis. Die Dauerwechselbiegefestigkeit beträgt für Orthocryl 117 kp/cm^2 , während für Palapress lediglich 75 kp/cm^2 ermittelt wurden. Auffällig allerdings ist der Verlauf der Kurven im abfallenden Teil. Während nach JANKE Kunststoffe mit der geringeren Dauerwechselbiegefestigkeit einen steileren Abfall am Beginn der WÖHLER-Kurve aufweisen, beobachten wir hier den vergleichsweise flacheren Anfangsteil für Palapress. So kommt es zu zwei Schnittpunkten der Kurven, nämlich bei einer Biegespannung von 198 kp/cm^2 (nach 10^4 Lastwechseln) und einer von 118 kp/cm^2 (nach $1,2 \times 10^5$ Lastwechseln). Zwischen diesen Werten muß für einen Prüfkörper aus Palapress eine höhere Lastwechselanzahl als für einen aus Orthocryl aufgewendet werden, um bei gleicher Biegespannung eine Gefügetrennung herbeizuführen, während es sich jenseits dieser Werte sowohl im Kurzzeit- als auch im Langzeitversuch umgekehrt verhält.

c) Gegenüberstellung

Die Frage, ob bei Vorliegen von Ergebnissen, die nach der einen der beiden Prüfmethoden gewonnen wurden, Rückschlüsse auf das zu erwartende Verhalten bei der anderen Dauerprüfung zulässig sind, muß also nach Auswertung der durchgeführten Versuchsreihen mit Palapress und Orthocryl verneint werden; denn beide Methoden führen zu entgegengesetzten Ergebnissen.

III. ZUSAMMENFASSUNG

Eine vergleichende Untersuchung von Dauerzug- und Dauerwechselbiegebeanspruchung an Hand zweier Kaltpolymerisate (Palapress und Orthocryl) war zur Aufgabe gestellt.

Nach grundsätzlichen Überlegungen über die Festigkeit von Kunststoffen und sie beeinflussende Faktoren, wurde auf die Problematik der Festigkeitsprüfungen näher eingegangen, um dann unter Heranziehung eigener Versuchsergebnisse Dauerzug und Dauerwechselbiegung gegenüberzustellen. Die Frage nach der besseren Simulierung der im Mund auf eine Prothese einwirkenden Belastungskräfte sollte abgeklärt werden. Ebenso sollte untersucht werden, ob die beiden grundsätzlich verschiedenen Belastungsarten zu vergleichbaren Ergebnissen führen, das heißt: Wird ein Kunststoff, der sich in einem Prüfverfahren als der festere erweist, dieses Verhalten auch im anderen zeigen?

Der Zeitstandfestigkeitsbestimmung diene eine Prüfanlage, in der Proben gleicher Provenienz Zugbelastungen ausgesetzt

sind, die, von hohen Werten ausgehend, immer geringer werden, bis kein Bruch mehr erfolgt.

Die Dauerwechselbiegefestigkeit wurde mit Hilfe der Wechselbiegemaschine von SCHENCK (Darmstadt) (Frequenz: 1430 Lastwechsel/min) ermittelt, wobei die Biegespannung immer weiter gesenkt wird, bis keine Gefügetrennung mehr zu verzeichnen ist.

Die Versuche haben gezeigt, daß die Ergebnisse der Wechselbiegeprüfung wegen fehlender Temperaturkonstanz - die Proben erwärmten sich von 23° C auf ca. 39° C - nur eingeschränkte Aussagekraft für sich beanspruchen können. Als Ursache des Temperaturanstiegs muß die hohe Frequenz von 1430 Lastwechseln/min angesehen werden. Methoden, gleichbleibende Temperaturbedingungen während der Versuchsdauer zu gewährleisten (über Fühler und Thermostaten), erscheinen entweder zu aufwendig, oder der Versuch erstreckt sich, bedingt durch eine extreme Frequenzerniedrigung, über einen zu großen Zeitraum.

Bei den Dauerzugversuchen wurde dagegen keine Erwärmung registriert. Deshalb ist der Aussagewert dieser Prüfergebnisse, bezogen auf die zu erwartende Festigkeit im Mund, höher einzustufen.

Bei einem Vergleich der Ergebnisse aus beiden Versuchsreihen fällt die unterschiedliche Festigkeit in dem uns interessierenden Bereich von fünf bis zehn Jahren auf. Während die

Proben aus Palapress höheren Zugbelastungen widerstehen, liegen die Werte für die Wechselbiegefestigkeit ab $1,2 \times 10^5$ Lastwechseln - das entspricht etwa einer Zeit von 80 min - um ca. 40 kp/cm^2 unter denjenigen von Orthocryl. Die Frage nach der Austauschbarkeit beider Prüfmethode n muß folglich verneint werden, da beide Verfahren zu entgegengesetzten Aussagen über die Festigkeit der Werkstoffe führen.

IV. LITERATURVERZEICHNIS

- ALFREY, T.: Mechanical Behavior of high Polymers.
Interscience Publishers, Inc., New York
1948
- BUCHMANN, W.: Eigenschaften von Polyvinylchlorid-
Kunststoff
Verlag J. F. Lehmann, München-Berlin 1944
- DIN 53504
50100 Deutscher Normenausschuß
- JANKE, G.: Über die Festigkeit zahnärztlicher
Kunststoffe in Abhängigkeit von der
Verarbeitung.
Habil. Schrift Marburg 1956
- MATTHES, H.: Drahtgittereinlagen in Paladon.
Inaug. Diss. Med. Fak. Universität
Marburg 1951
- V. MEYSENBURG, C. M. in:
- STIEBELING, G.: Über die Dauerbiegefestigkeit zahn-
ärztlicher Kunststoffe in Abhängigkeit
von ihrer Verarbeitung.
Inaug. Diss. Med. Fak. Universität
Marburg 1956/1957
- MÜLLER, F. H.: Bleibende physikalische Veränderungen
hochpolymerer Kunststoffe und deren
Prüfung.
Kunststoffe 41/41 1951

- RITZE, H.: Untersuchungen von autopolymerisierenden Prothesenkunststoffen unter besonderer Berücksichtigung der Dauerbiegefestigkeit, des Elastizitätsmoduls und der Härte.
das dental-labor Heft 2/1965
- SCHWÄRZL, F. und STA-
VERMANN, A.J. in:
STUART, H. A.: Die Physik der Hochpolymeren.
Springer, Berlin, Göttingen, Heidelberg
1956
- SCHWICKERATH, H.: Die elastischen Eigenschaften der
Methacrylate. DZZ 16/480/61
- STRACK, R.: Für und wider den Kunststoff.
DZZ 1947, H. 4/5, 7/8
- TRINKAUS, J.: Zeitstandverhalten von Prothesenkunststoffen im mundähnlichen Milieu unter Berücksichtigung des Hedent-Verfahrens.
Inaug. Diss. Med. Fak. Universität
Marburg 1971
- UHLIG, H.: Über die Dauerbiegefestigkeit metallverstärkter Kunststoffe.
DZZ 13 u. 24, 6. Jg.
- WEIKART, P.: Werkstoffkunde für Zahnärzte
Carl Hanser Verlag München 1966

Für die Überlassung des Themas sowie für die freundliche Unterstützung bei der Planung und Durchführung dieser Arbeit und für die Übernahme des Referates möchte ich meinem verehrten Lehrer, Herrn Professor Dr. Georg Janke, meinen Dank aussprechen.

Ebenso gilt mein Dank

für die Übernahme des Correferates: Prof. Dr. F. H. Müller.

Weiterhin möchte ich Frau Zahntechnikermeister Gerke für ihre Unterstützung und Herrn Dr. Nümann von der Firma Dynamit Nobel für die Bereitstellung der Wechselbiegemaschine nach SCHENCK danken. Fernerhin gilt mein Dank den Firmen Kulzer und Dentaureum, die mir die Prüfmaterialeien zur Verfügung gestellt haben.

Meine akademischen Lehrer waren die Damen und Herren

Professoren und Dozenten

Bauer, Braun-Falco, Feher, Harndt, Hegemann, Hennis,
Herfahrt, Hering, Heuser, Janke, Keidel, Kirchner, Kobes,
Korb, Krönke, Kuhn, Kummer, May, Niemeyer, Ortmann, Pantke,
Paschke, Pfütz, Rodeck, Schiff, Schmid, Steib, Steinhardt,
Strohmeyer, Vogel, Weikart.

Lebenslauf

Am 4. März 1944 wurde ich als Sohn des Lehrers Helmut Marbach und seiner Ehefrau Ruth, geb. Hein, in Elbing/ Westpreußen, geboren. 1950 wurde ich in die Volksschule Horath (Kreis Ennepe-Ruhr) eingeschult. Von 1954 - 1963 besuchte ich das mathematisch naturwissenschaftliche Carl-Duisberg-Gymnasium in Wuppertal-Barmen und begann nach bestandener Reifeprüfung im Herbst 1963 mit dem Studium der Zahnheilkunde an der Universität zu Köln. Nach zwei Semestern wechselte ich 1964 zur Universität Erlangen-Nürnberg und bestand dort nach vier weiteren Semestern am 31. 10. 1966 die Zahnärztliche Vorprüfung. Mit Beginn des zweiten klinischen Semesters setzte ich 1967 mein Studium an der Philipps-Universität Marburg fort, an der ich am 7. 7. 1969 das Staatsexamen ablegte.

Am 18. 7. 1969 heiratete ich die Zahnärztin Sabine Schützler und zog nach Köln. Nach vier Assistentenjahren in zwei Zahnarztpraxen habe ich mich zusammen mit meiner Frau im Herbst 1973 in Köln 91, Brücker Mauspfad 613, niedergelassen.

Ich erkläre ehrenwörtlich, daß ich die der Medizinischen Fakultät Marburg zur Promotionsprüfung eingereichte Arbeit mit dem Titel: "Ist die Festigkeitsprüfung von Kunststoffen mittels Dauerwechselbiegung und Dauerzug adäquat?" in der Klinik und Poliklinik für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten Marburg/Lahn und bei Dynamit Nobel in Troisdorf unter Leitung von Herrn Professor Dr. G. Janke mit Unterstützung durch Frau Gerke (Zahntechnikermeisterin) und Herrn Dr. Nümann ohne sonstige Hilfe selbst durchgeführt und bei der Abfassung der Arbeit keine anderen als in der Dissertation angeführten Hilfsmittel benutzt habe.

Ich habe bisher an keiner in- und ausländischen Medizinischen Fakultät ein Gesuch um Zulassung zur Promotion eingereicht noch die vorliegende oder eine andere Arbeit als Dissertation vorgelegt.

A N H A N G

T a b e l l e I

Palapress (Zugbeanspruchung)

Tatsächliche Belastung (kp)	Maß der Probe (mm)	Zeit bis z. Bruch (h)	Auf Standard- maß (3,0 x 4,0 mm) umgerechnete Be- lastung (kp/cm ²)
--------------------------------	-----------------------	--------------------------	--

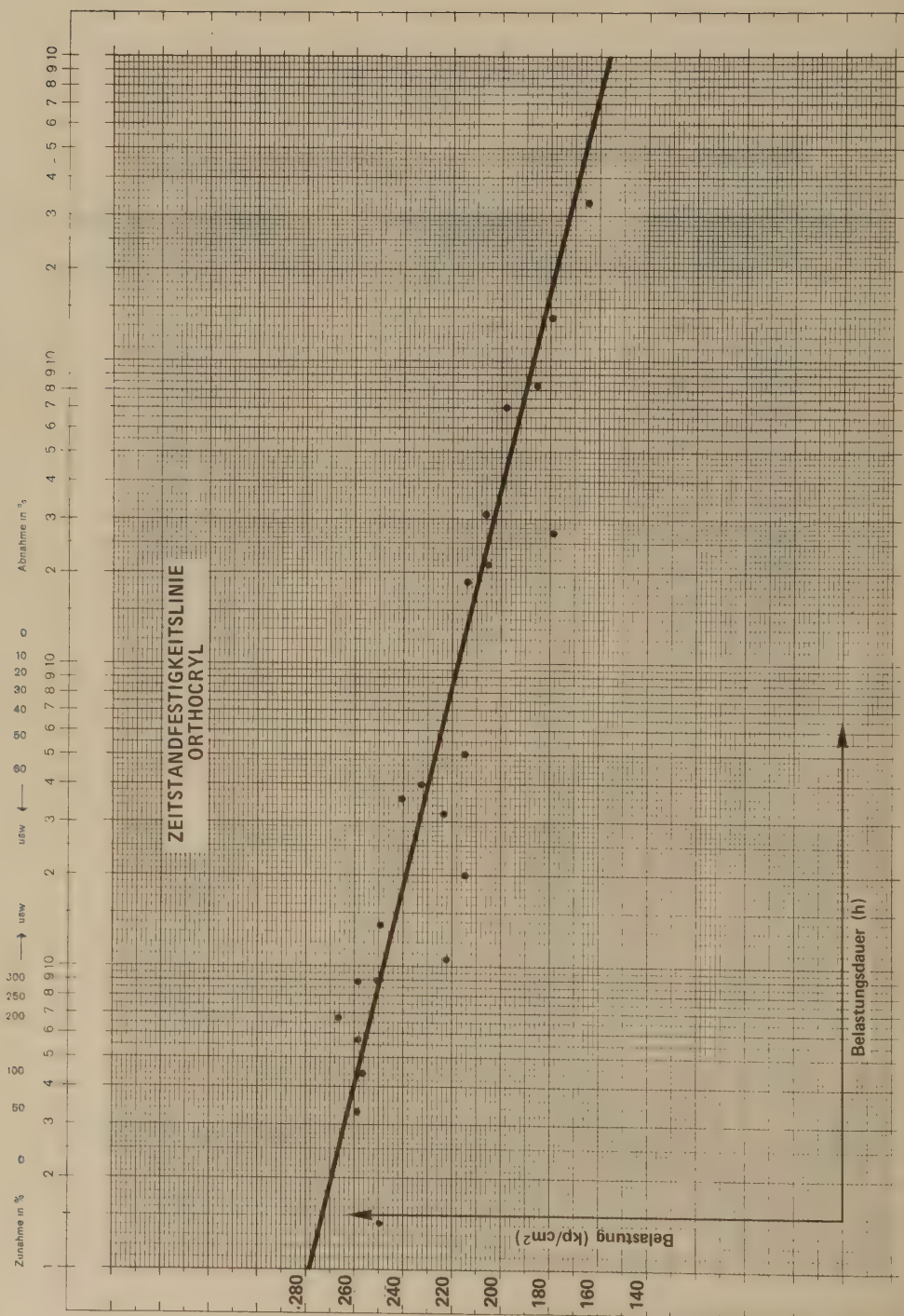
40	2,9 x 4,0	0,00	345,0
38	3,0 x 4,0	0,08	316,0
37	3,0 x 4,0	1,13	308,5
37	3,0 x 4,0	0,45	308,5
36	3,0 x 4,0	5,78	300,0
36	3,0 x 4,0	4,20	300,0
35	3,0 x 4,0	1,11	291,6
35	3,1 x 4,0	15,13	282,0
35	2,8 x 4,0	0,61	312,5
34	3,0 x 4,0	11,00	283,5
33	3,0 x 4,0	4,32	275,0
33	2,9 x 4,0	3,92	284,5
32	3,0 x 4,0	11,70	266,5
32	3,0 x 4,0	13,63	266,5
32	2,9 x 4,0	44,16	276,0
31	2,7 x 4,0	4,92	287,0
31	3,0 x 4,0	25,54	258,5
29	3,0 x 4,0	78,48	241,5
29	2,9 x 4,0	37,01	250,0
29	3,2 x 4,0	290,60	226,5
28	2,9 x 4,0	34,09	241,5
27	3,0 x 4,0	164,81	225,0
26	3,0 x 4,0	583,72	216,5
26	2,9 x 4,0	245,07	224,5

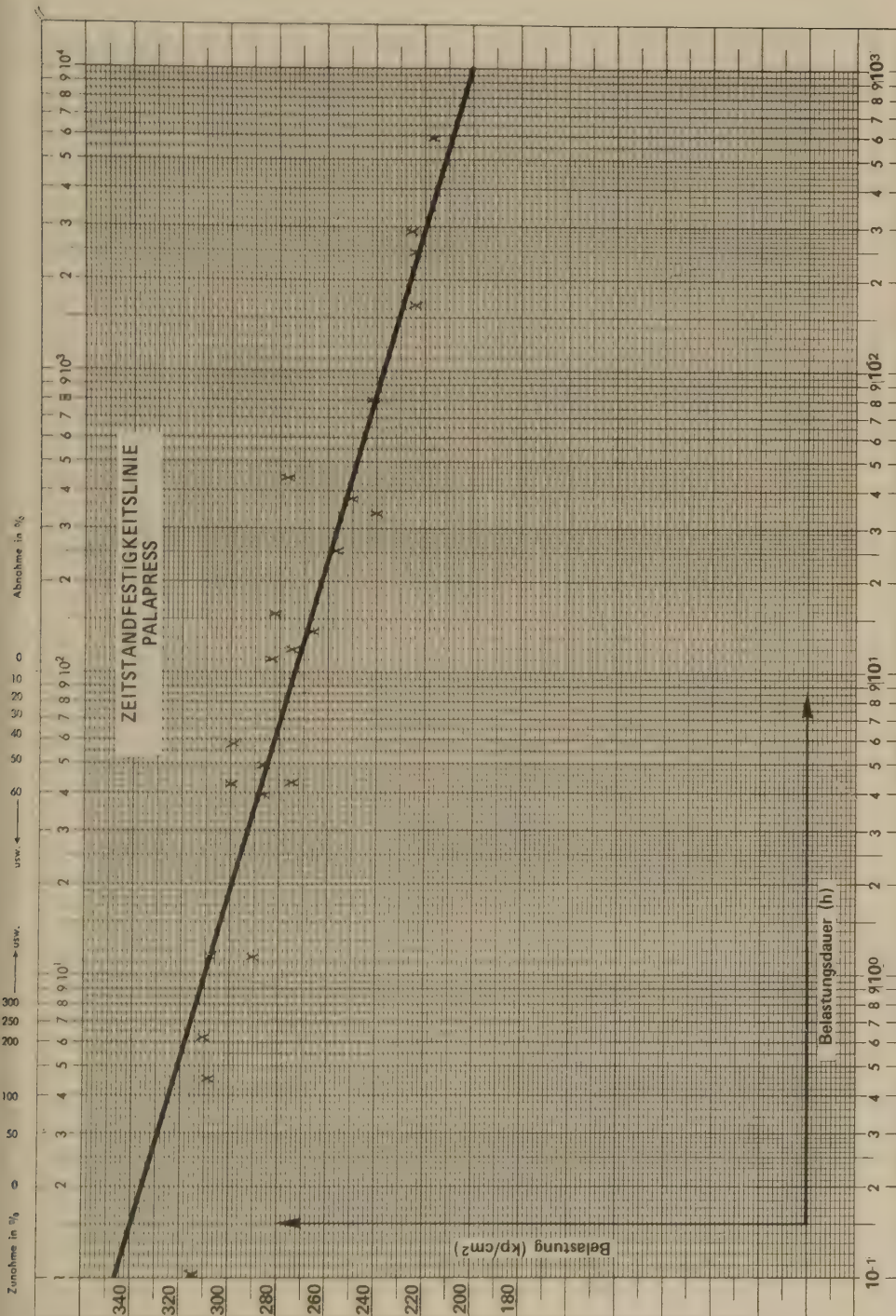
T a b e l l e II

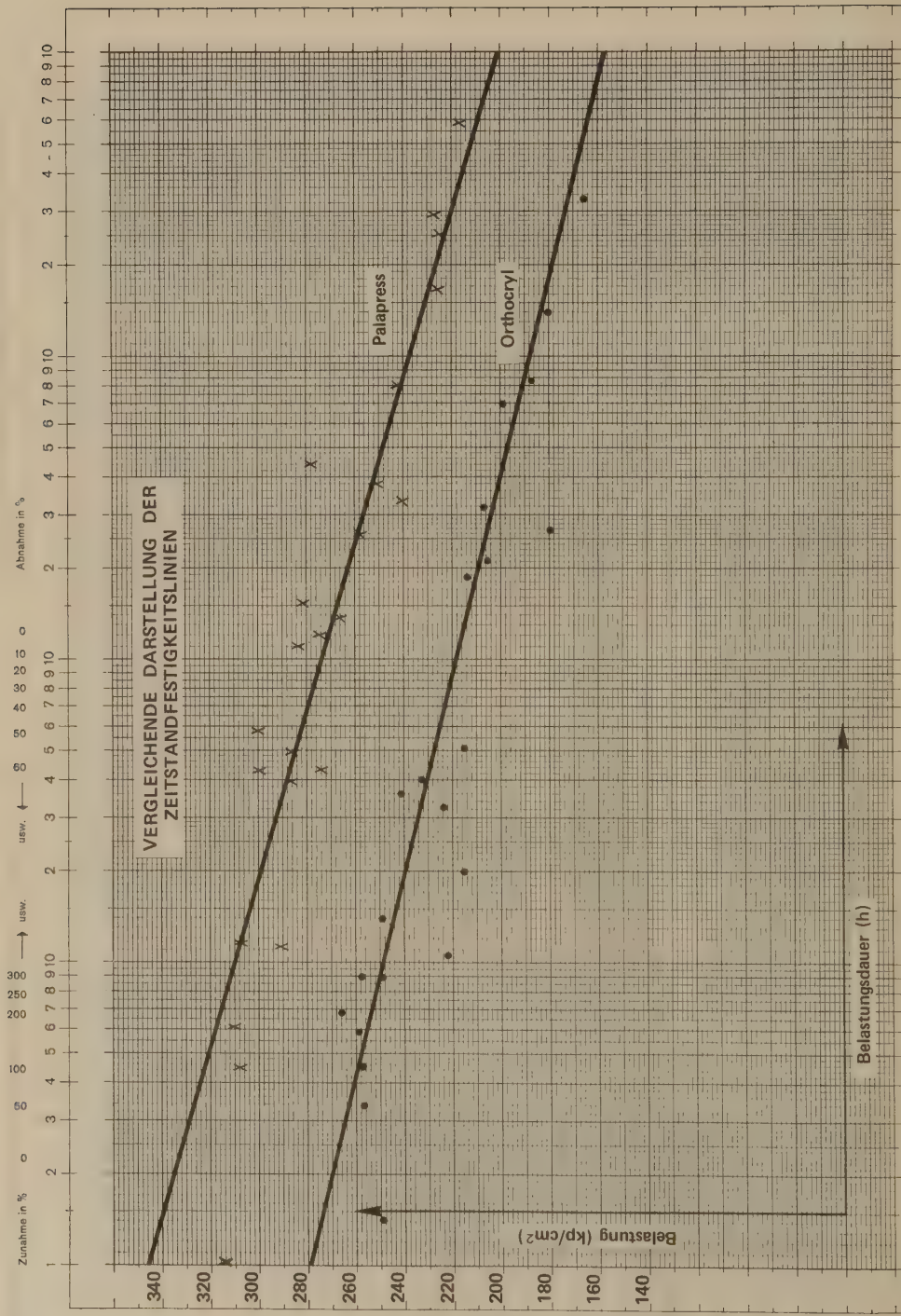
Orthocryl (Zugbeanspruchung)

Tatsächliche Belastung (kp)	Maß der Probe (mm)	Zeit bis z. Bruch (h)	Auf Standard- maß (3,0 x 4,0 mm) umgerechnete Be- lastung (kp/cm ²)

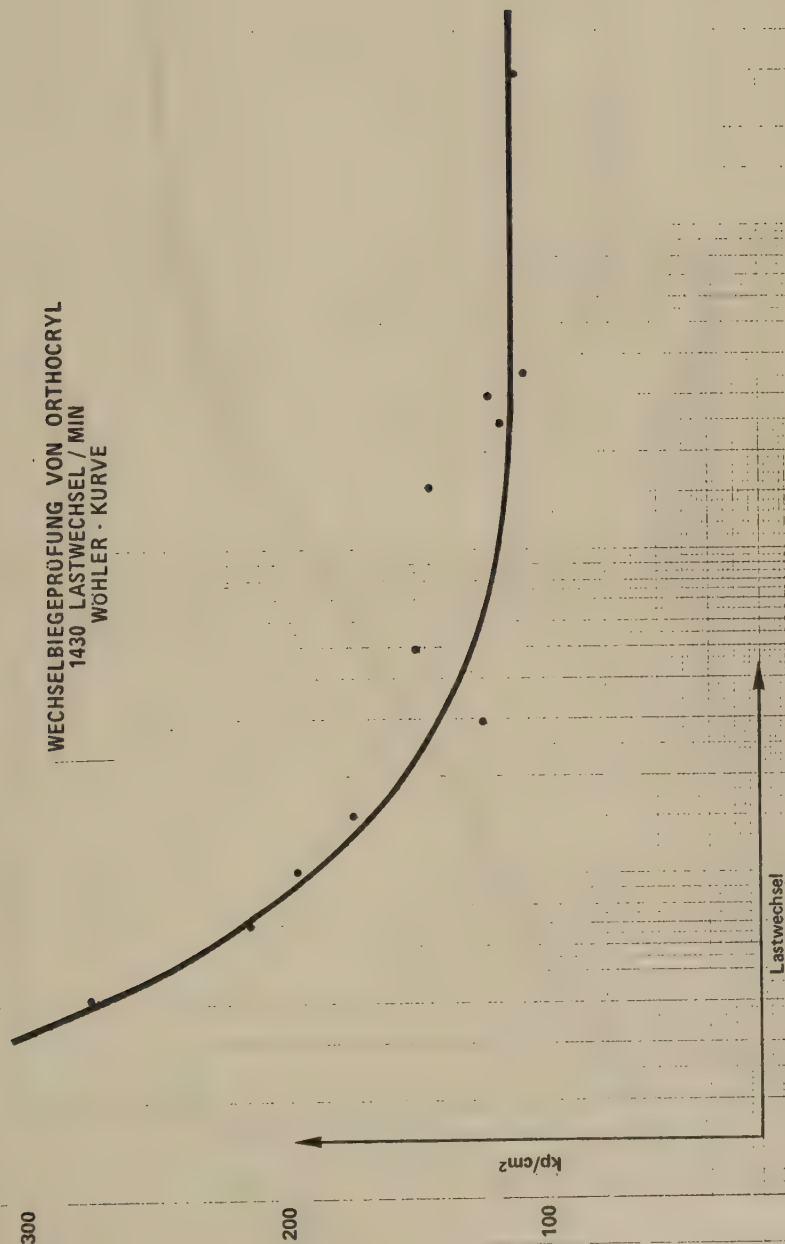
33	2,9 x 4,0	0,00	284,5
33	3,0 x 4,0	0,00	275,0
31	3,0 x 4,0	0,33	258,5
31	2,9 x 4,0	0,67	267,0
30	3,0 x 4,0	0,14	250,0
30	2,9 x 4,0	0,44	258,5
29	2,8 x 4,0	0,88	259,0
29	2,9 x 4,0	1,34	250,0
28	2,9 x 4,0	3,45	241,5
28	2,7 x 4,0	0,56	259,0
27	2,9 x 4,0	3,83	232,5
27	2,7 x 4,0	0,89	250,0
26	2,9 x 4,0	3,03	224,5
26	3,0 x 4,0	1,98	216,5
25	2,8 x 4,0	1,03	223,0
25	2,9 x 4,0	5,18	215,5
24	2,8 x 4,0	18,00	214,5
24	2,9 x 4,0	30,50	207,0
23	2,8 x 4,0	21,63	205,0
23	2,9 x 4,0	67,35	198,5
21	2,9 x 4,0	136,62	181,0
21	2,8 x 4,0	83,96	187,5
20	3,0 x 4,0	324,29	166,5
20	2,8 x 4,0	26,56	178,5







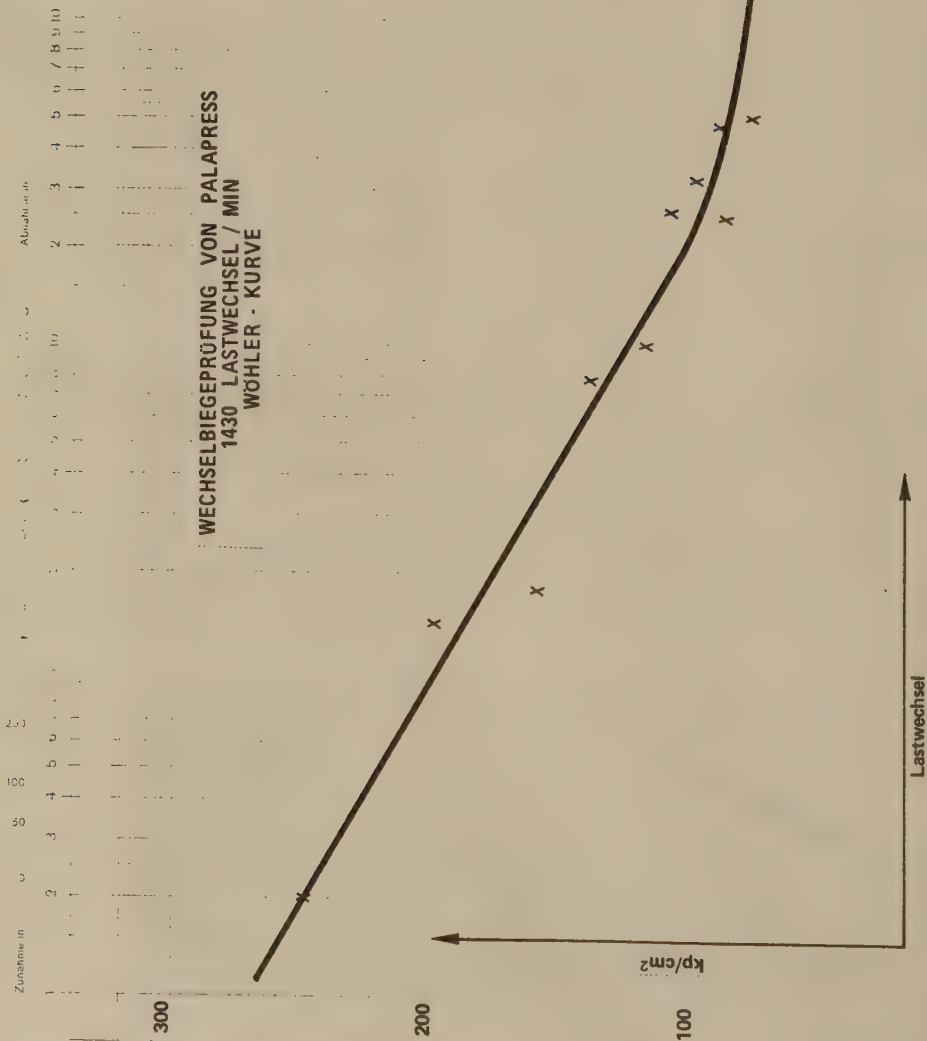
**WECHSELBIEGEPRÜFUNG VON ORTHOCRYL
1430 LASTWECHSEL / MIN
WÖHLER - KURVE**



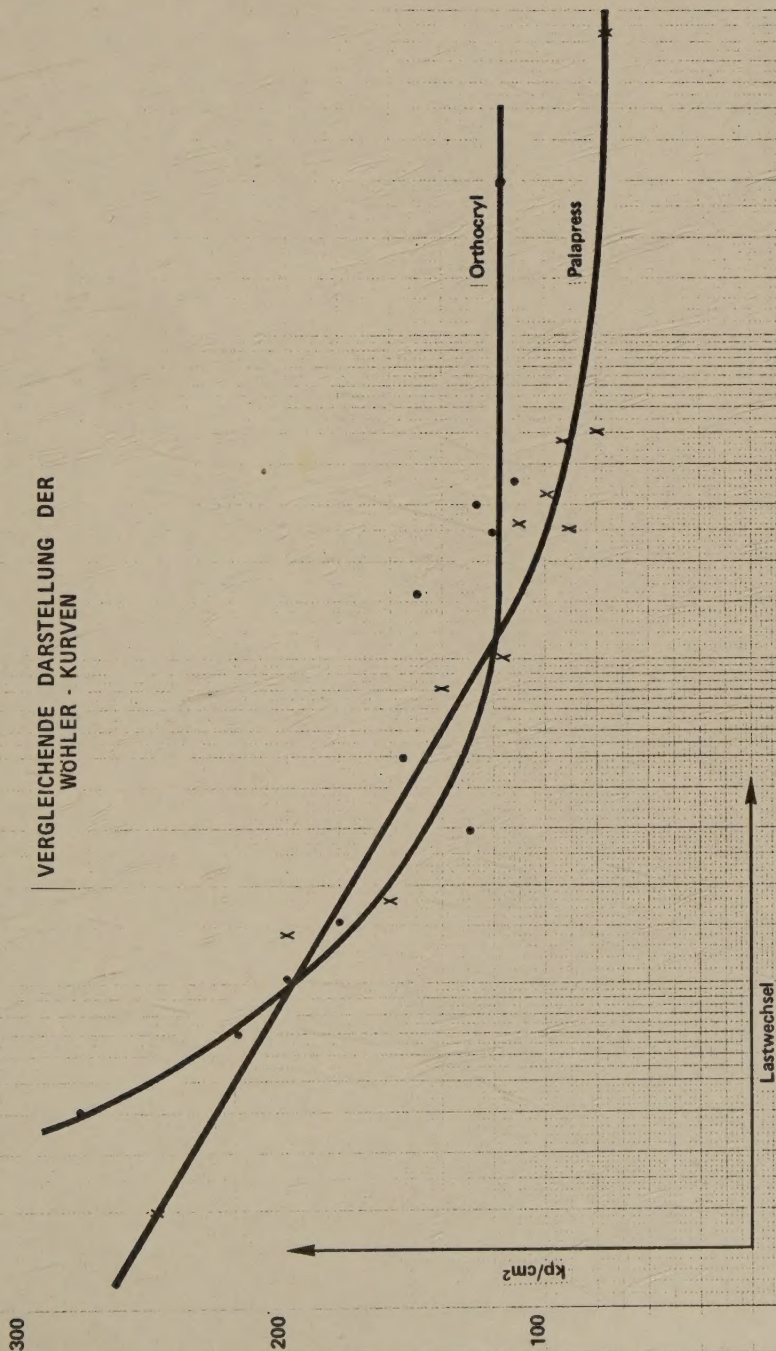
3b) steli Nr 667054, Nr 3b9'2:6 MADE IN GERMANY

Eine Achse logarithmisch geteilt von 1 bis 10000, Einheitskreis mit 1000 Teilstrichen, 1000 Teilstrichen auf der Zeitachse.

WECHSELBIEGEPRÜFUNG VON PALAPRESS 1430 LASTWECHSEL / MIN WÖHLER - KURVE



VERGLEICHENDE DARSTELLUNG DER WÖHLER - KURVEN



THE EQUILIBRIUM DISSOLUTION OF MINERAL PELLETS

